

琉球大学 正員 具志幸昌 正員 〇知仁屋晴雄
正員 伊良波繁雄

1. はじめに

沖縄県下のRC構造物は塩害によって底辺が深刻な被害をこうむっていることが筆者等やその他の調査結果で明らかにされている。その主因は海砂や塩分含有混練水の使用、海水の直接・間接の浸透、高温多湿の気候風土のほかコンクリートの低品質や施工不備等があげられる。本実験はそういう実態把握にひきつづき、このような塩害を防止する方策をたてるために実施したもので、材令9ヶ月までの結果はすでに報告してある^(1,2)。今回は1年半までの結果を述べる。

2. 使用材料・実験計画および方法

セメントは市販の普通ポルトランドセメントを、粗骨材は比重2.49、吸水率6.90%、粗粒率2.38の海砂、細骨材は比重2.71、吸水率0.24%、最大寸法20mmの密実堅硬な石灰岩碎石を使用した。海砂の含塩量は0.008~0.023%の範囲にあった。鉄筋は19mm丸鋼をみがい、防錆剤は市販のニトロソ磷酸エステル系を使用した。

実験は表-1に示した因子と含塩量(4水準)との5因子をえらび主効果のみを対象に実験計画法によって L_{32} 直交表で実施したが、暴露条件B(以下因子名は表に併記した記号を使う)と含塩量とは分離して、それぞれ L_{16} 直交表で解析できるようにわりつけ(前報2参照)であるので、今回は表-1の4因子が鉄筋の発錆におよぼす影響について述べる。B₁は屋外放置、B₂、B₃は3%食

表-1 因子と水準表

因子 \ 水準	1	2	3	4
暴露条件 B	自然	完浸	半浸	ふりかけ
水セメント比 C	40%	50%	60%	70%
防錆剤量 D	0	1/2標準量	標準量	2倍標準量
かぶり厚さ E	1 cm	2 cm	3 cm	5 cm

塩水中にそれと水供試体を完全に浸したものとおよび半分の高さまで浸したものと、またB₄は屋外放置の供試体に毎日一定時刻に3%食塩水をジョロでふりかけたものである。さらにD₀はメーカーの指示している量である。

供試体は12×20×30 cmの直方体で、鉄筋は長さ20 cmの19 mm丸鋼を水平に3本並べ、かぶりは打込み時の上面よりとって埋込んだ。発錆面積は各材令で鉄筋を取り出し、ポリエチレン紙を巻きつけて発錆部分を写しとり、さらにそれを1 mm厚眼紙に写しとって測定した。

3. 実験結果および考察

本実験は最初塩分零(たゞし、前述の海砂中の塩分を含む)の供試体に後から塩分が透達して行ったときの各因子の効果を調べるためのものである。実験のわりつけと発錆面積の測定結果を表-2に、分散分析結果を表-3に示す。表-3から、発錆に最も影響をおよぼす因子は環境因Bであることがわかる。以下これと同時に実施している当初から塩分(コンクリート重に対して最高

表-2. わりつけおよび測定結果

NO	B	C	D	E	1年発錆面積 (x10 ² cm ²)	1.5年発錆面積 (x10 ² cm ²)				平均発錆率 (%)
						1	2	3	合計	
1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
2	2	2	2	2	8	6	6	0	12	0.3
3	3	2	1	3	41	56	110	35	201	5.6
4	4	1	2	4	0	26	3	0	29	0.8
5	3	1	3	2	0	0	0	2	2	0
6	4	2	4	1	93	37	81	25	143	4.0
7	1	2	3	4	8	0	0	0	0	0
8	2	1	4	3	0	0	0	0	0	0
9	3	3	2	1	121	47	116	76	239	6.7
10	4	4	1	2	183	104	67	64	235	6.6
11	1	4	2	3	6	2	3	0	5	0.1
12	2	3	1	4	0	6	4	5	15	0.4
13	1	3	4	2	2	0	0	0	0	0
14	2	4	3	1	33	20	19	43	82	2.3
15	3	4	4	4	50	36	45	16	97	2.7
16	4	3	3	3	9	0	57	146	203	5.7

1%)を含んだ供試体の結果も勘案して、まとめを列挙する。

1) 環境別による発錆面積は、(B_1, B_2)グループと(B_3, B_4)グループとに大別され、後者の方が前者にくらべ、各材令で圧倒的に大きい。これは塩分量と酸素補給とが原因である。

2) 発錆面積は材令とともに、塩分の浸透量が増加するので、漸増しているが、その増加の状況は各供試体で一律ではない。

3) 外部から塩分がコンクリート中に浸入してくる場合は、ポースト水セメント比の大きいものほど、塩分が早くコンクリート中に蓄積されるが、防錆剤が十分存在している時は、当初は発錆は抑制されている。しかし、材令が経ち、塩分が鉄筋のまわりのコンクリート中で増加すると、防錆剤は抑制できなくなって発錆することになる。

4) 塩分浸入に対して有効に抵抗する因子は水セメント比で、かぶり厚さはそれほど重要でない。
 C_1 供試体は、1年半現在までに調べた、84個中発錆していたのは4個であるが、 E_1 供試体では27個も発錆していた。

5) C_1 供試体で発錆しているものは、 B_4 で3個、 B_3 で1個である。1年半も経つと、この場合でも防錆剤(D_2, D_3)を擁えられないうちの塩分が浸透し発錆し始めた。前述の当初から塩分を混入した供試体の結果から判断して、以後発錆は漸増するものと思われる。

6) 発錆に対して不利な要素として、水セメント比の大きいこと、かぶりが極端に薄いこともあげられる。1年半現在で、 C_4 供試体84個中72個、 E_1 供試体では50個も発錆していた。

7) B_4 供試体の場合、 B_3, B_4 供試体の結果から類推すれば、鉄筋のまわりには発錆させるに十分な塩分が存在していると思われるが、空気から遮断されているため発錆速度は相当遅い。また発錆は同一配合の供試体では、ほとんどすべてに一樣に生じている。

8) コンクリート中の鉄筋の発錆は、主として塩

表-3 分散分析表 (1.5年)

因子	df	S. S	M. S	M.S/ e_2	P (%)
B	3	22978	7659	12.14**	32.8
C	3	9443	3148	4.99*	11.8
D	3	2150	717	—	0.4
E	3	5472	1824	2.90*	5.6
e_1	3	3983	1328	—	3.3
T_1	15	44026			
e_2	32	20202	631		46.1
T_2	47	64228			100

**危険率1%で有意、*危険率5%で有意

分量によってきまる。ある一定量以上の塩分が存在すると発錆はまめがれない。防錆剤の添加によって発錆に関する塩分量の「しきい値」を上昇させることはできる。水セメント比を小さくすることは、塩分が外部から浸入してくるのを阻止すること、発錆に必要な酸素を遮断するという意味で二重の効果がある。また水セメント比を小さくすることおよびかぶり厚さを大きくすることは、発錆の開始をおくらせたり、ある時点における発錆を少なくすることや発錆速度を小さくすることはできる。

しかし、コンクリート中に塩分が存在するときには、発錆そのものやその拡大を阻止することはできないので、水セメント比を小さくしたり、かぶりを厚くしたりすることによってコンクリート中の塩分の許容量を上げることとは、本実験の条件の範囲内では、できないと考える。

9) 波しびきをあびたり、一部が海中にある鉄筋コンクリート構造物の場合、防錆剤の使用のみによって発錆を阻止することはできない。しびきががらうないような工夫をするとか、水分や塩分がコンクリート中に浸透するのを防ぐ措置を講じるべきである。

4. おわりに

本研究は、昭和51年度文部省科学研究費によって費用の大半がまかなわれたことを付記しておきます。

1. 具志他2名：コンクリート中の鉄筋の発錆実験(その1)、建築学会中・九文部研報、第4号・1、S.53年2月

2. 具志他2名：同上-3ヶ月時と6ヶ月時-、琉球大学理工学部工学部第15号、S.53年3月